

Nutrition des bovins tropicaux dans le cadre des élevages extensifs sahéliens : Mesures de consommation et appréciation de la digestibilité et de la valeur alimentaire des fourrages (*)

III. — Comparaison de cinq méthodes d'appréciation de la digestibilité des aliments du bétail (fourrages secs)

par P. L. PUGLIESE, S. DIALLO et H. CALVET (**)

RÉSUMÉ

Les auteurs comparent et discutent les résultats obtenus sur 35 fourrages avec 5 méthodes d'appréciation de la digestibilité. Par rapport à la méthode de référence, la digestibilité *in vivo* sur mouton, les méthodes qui sont apparues susceptibles de donner les meilleures estimations avec les fourrages tropicaux étudiés sont : celle qui fait appel à l'index fécal azoté de Lambourne d'une part, et celle qui utilise une technique *in vitro* en deux temps, d'autre part.

Dans le cadre des objectifs rappelés dans le titre, la première méthode ($F = 0,003$; $r = 0,83$) semble d'utilisation immédiate pour un travail sur le terrain, la seconde nécessitera auparavant quelques adaptations.

I. INTRODUCTION

Ce nouveau travail s'inscrit dans le contexte d'un thème général de recherche intitulé « Nutrition des bovins tropicaux dans le cadre des élevages extensifs sahéliens » dont les objectifs essentiels sont la mesure de la consommation, aux différentes périodes de l'année, des animaux entretenus au pâturage en même temps que l'estimation de la valeur alimentaire des fourrages consommés à chacune de ces périodes.

Il a été précédé par un premier article exposant les objectifs et la méthodologie générale de cette recherche et par un second rapportant et discutant les résultats obtenus dans une première série de 40 expérimentations de digestibilité *in vivo* sur mouton (5, 1).

Qu'il s'agisse de mesurer la consommation ou d'apprécier la valeur alimentaire des fourrages, on a vu qu'il est indispensable d'estimer, avec le plus de rigueur possible, la digestibilité des ingestats. Or, la méthode *in vivo*, longue et exigeant des quantités de fourrage relativement importantes, est d'application pratiquement impossible dans les conditions particulières de travail sur le terrain. Il faut donc, dans ce contexte, lui substituer une ou plusieurs méthodes indirectes d'appréciation de la diges-

(*) L'étude de la nutrition des bovins tropicaux dans le cadre des élevages extensifs sahéliens fait l'objet d'un thème de recherche inscrit au IV^e plan de développement économique et social de la République du Sénégal.

(**) Laboratoire National de l'Élevage et de Recherches Vétérinaires, B. P. 2057, Dakar-Hann, (République du Sénégal).

tibilité et parmi elles rechercher celles qui sont susceptibles de donner les estimations les plus reproductibles et les plus voisines de celles obtenues *in vivo*. Pour ce faire, nous avons comparé et discuté sur une série de 35 expérimentations les résultats obtenus avec 4 méthodes indirectes par rapport à ceux résultant de la méthode de référence *in vivo*.

II. MÉTHODES INDIRECTES RETENUES

Parmi les différentes méthodes indirectes d'appréciation de la digestibilité, ont été retenues :

- la méthode des rapports (*lignin ratio*). Elle utilise la lignine comme marqueur interne des fourrages ;

- l'équation sommative dite de VAN SOEST ;

- la digestibilité *in vitro* en deux temps de TILLEY et TERRY ;

- l'index fécal azoté (LAMBOURNE et REARDON).

II.1. La méthode des rapports (*lignin ratio*)

Cette méthode repose sur l'hypothèse selon laquelle la substance utilisée comme marqueur interne des fourrages, en l'occurrence la lignine, est pratiquement indigestible et se retrouve presque intégralement dans les fèces (3, 12, 2). Le dosage de la lignine dans le fourrage ingéré et dans les fèces permet alors de calculer les coefficients de digestibilité de la matière sèche ou d'un autre composant de l'analyse bromatologique par les formules suivantes (2, 6).

$$F1) \text{ Digestibilité de la MS} = 100 - 100 \frac{\text{p. 100 de lignine dans le fourrage}}{\text{p. 100 de lignine dans les fèces}}$$

(F2) Digestibilité d'un composant spécifique

$$n = 100 - 100 \frac{x}{y} \frac{n \text{ fèces}}{n \text{ fourrage}}$$

avec x = pourcentage de lignine dans le fourrage,

y = pourcentage de lignine dans les fèces,

n = pourcentage d'un composant donné de l'analyse bromatologique (matière organique, matière azotée totale, cellulose, etc...), soit dans le fourrage, soit dans les fèces.

Le problème se ramène donc à un dosage de lignine dans le fourrage ingéré et dans les matières fécales émises.

Les méthodes retenues ici pour le dosage de la lignine sont celles de VAN SOEST qui font intervenir dans un premier temps l'action d'un détergent, le CTAB (Cétyl-Triméthyl-Ammonium-Bromide), suivie soit d'une attaque à l'acide sulfurique à 72 p. 100 (8), soit d'une attaque au permanganate de potassium (14). Le traitement au CTAB a pour objet la préparation d'un résidu à faible teneur azotée, dénommé « fibre » ou « ADF » (*Acid-Detergent Fiber*). Il ne s'agit pas là d'une entité chimique parfaitement définie mais d'un mélange de substances, lignine et polysaccharides essentiellement, associées plus ou moins étroitement à la fraction indigestible des fourrages. A partir de ce matériel, on peut passer de façon satisfaisante à la détermination de la lignine par l'une ou l'autre des méthodes citées (acide ou permanganate). Le traitement à l'acide sulfurique conduit, après élimination des matières grasses à l'acétone, à une fraction organique insoluble, la lignine, dénommée par les auteurs ADL (*Acid-Detergent-Lignin* ou « lignine-acide sulfurique »), fraction que l'on estime par différence après calcination. Le traitement au permanganate permet, après dégraissage, la détermination d'une fraction dissoute, la « lignine-permanganate », qui est évaluée par différence.

II.2. L'équation sommative de VAN SOEST (12, 10, 15)

VAN SOEST est l'auteur d'une méthode récente d'analyse des fourrages, originale et séduisante par sa logique. Il distingue dans la matière sèche des fourrages 2 fractions : (11, 12, 10) :

- la « fibre », d'une part, correspondant aux parois cellulaires du végétal, insoluble dans un complexe détergent neutre, encore dénommée N. D. F. (*neutral-detergent-fiber*). Il s'agit, en fait, d'une fraction composée essentiellement de cellulose et hémicelluloses, utilisables par l'animal, et de lignine, théoriquement indigestible ;

- le « contenu cellulaire », d'autre part, soluble dans le réactif détergent, fraction éminemment digestible composée de carbohydrates, de lipides et de protéines (13).

L'intérêt de cette distinction est qu'au plan nutritionnel la sommation de digestibilités partielles et très inégales des deux fractions conduit à une estimation de la digestibilité apparente de la matière organique des fourrages, une fois retranchée la part revenant à l'excrétion endo-

gène et bactérienne, selon l'équation (12, 15) :

$$\text{DMO} = 0,98 \text{ S} + \text{W} \\ (1,473 - 0,789 \log \text{L}) - 12,9 ;$$

DMO représente la digestibilité de la matière organique du fourrage exprimée en pourcentage,

S, la fraction soluble dans le complexe détergent neutre en pourcentage (contenu cellulaire),

W (ou NDF), la fraction insoluble dans le même réactif (parois cellulaires),

L, l'« acid-detergent-lignin » (ADL) exprimée en pourcentage de l'acid-detergent fiber (ADF),

12,9 est un facteur de correction qui tient compte de l'excrétion endogène et bactérienne.

II.3. La digestibilité *in vitro* en deux temps de TILLEY et TERRY (7)

Comme la précédente, la méthode présente l'avantage de ne travailler que sur le fourrage. Elle consiste en une digestion *in vitro* du fourrage en deux temps. Dans un premier temps, la prise d'essai de fourrage sec et broyé est soumise à une digestion bactérienne conduite en anaérobiose en présence de jus de rumen et de salive artificielle. Le jus de rumen provient de deux moutons fistulés maintenus en permanence à la même alimentation. On utilise pour l'expérimentation des tubes de fermentation spéciaux dans lesquels l'air au-dessus du liquide est remplacé par du gaz carbonique. Un système de valve permet l'évacuation des gaz produits. Les tubes sont maintenus à l'obscurité, dans une chambre étuve à température constante (38 °C) et au pH 6, 8, ceci durant 48 heures. Le résidu obtenu est soumis dans un deuxième temps à une digestion par la pepsine en milieu acide pour une nouvelle période de 48 heures. La matière sèche et la matière organique digérées dans les tubes expérimentaux par rapport à des tubes témoins permet la détermination des pourcentages de matière sèche et de matière organique digestibles.

II.4. L'index fécal azoté - Équation de LAMBOURNE et REARDON (4)

Les auteurs, à la suite d'études portant sur un grand nombre d'échantillons, ont établi une relation statistique qui aurait valeur générale, entre la digestibilité de la matière organique et le pourcentage d'azote contenu dans la matière organique des fèces (Xn). Celui-ci est lié à un

indice que les auteurs appellent l'index fécal azoté (YMO) par la relation parabolique :

$$\text{YMO} = 2,04 - 0,24 \text{ Xn} + 0,186 \text{ Xn}^2.$$

On passe de l'index fécal azoté à la digestibilité de la matière organique par la relation :

$$\text{DMO} = \frac{\text{YMO} - 1}{\text{YMO}} \times 100$$

III. RÉSULTATS D'ENSEMBLE OBTENUS AVEC LES QUATRE MÉTHODES INDIRECTES RETENUES ET LA MÉTHODE DE RÉFÉRENCE

Ces résultats figurent au tableau général I qui présente, pour chaque groupe de fourrage ou d'aliment étudié, les 5 types de données obtenues.

D'une façon générale, les coefficients d'utilisation digestive rapportés ici intéressent les fourrages ingérés. Ils sont donc le résultat de corrections tenant compte de la proportion, de la composition et, lorsque cela a été possible, des coefficients de digestibilité des refus.

IV. ANALYSE DES RÉSULTATS ET DISCUSSION

IV.1. Méthode des rapports

La méthode repose, comme on le sait, sur le dosage de l'indicateur dans l'aliment et dans les fèces correspondants.

IV.1.1. Dosage de la lignine dans les fourrages

Dans le tableau n° II qui présente les résultats moyens par groupe de digestibilités, L1 représente la lignine dosée par la méthode à l'acide sulfurique à 72 p. 100, L2 la lignine dosée par la méthode au permanganate.

On constate qu'à l'exception du dernier groupe (rations élaborées d'embouche) les deux méthodes, appliquées aux fourrages distribués, aux refus et à l'ingéré calculé, donnent des résultats tout à fait comparables. Sur l'ensemble des 35 expérimentations, en effet, l'analyse de variance ne met pas en évidence de différence significative entre les deux méthodes tant pour le fourrage distribué que pour les refus ou l'aliment ingéré. (Les valeurs de F sont respectivement 0,33 ; 0,73 et 0,23). Par ailleurs, les corrélations entre les deux méthodes pour les trois groupes de données sont hautement significa-

TABL. N°I-Coefficients de digestibilité (p.100). Résultats obtenus avec les quatre méthodes indirectes retenues et la méthode de référence.

Nature de la ration	Digestibilité <i>in vivo</i>		Rapport Lignine		VAN SOEST	Digestibilité <i>in vitro</i>	LAMBOURNE
			H ₂ SO ₄	KMnO ₄			
	d MS	d MO	d MS	d MS	d MO	d MS	d MO
Fane d'arachide girobroyée	59,8 ± 1,2 (n=20)	60,7 ± 2,4 (n=20)	65,7 ± 4,1 (n=5)	52,7 ± 20,2 (n=5)	59,1 ± 3,3 (n=5)	59,2 ± 8,3 (n=5)	58,8 ± 2,9 (n=5)
Fane d'arachide pulvérulente	54,3	57,3	47,0	40,6	51,1	60,0	55,9
Fane d'arachide pulvérulente + Farine de sorgho	55,5	63,3	53,2	35,9	62,7	60,9	62,0
Fane d'arachide girobroyée + Graine de coton	56,2	59,8	49,1	46,8	56,7	58,3	57,1
Fane de haricot BUD - Sénégal	62,2	68,3	29,0	28,8	62,6	51,9	60,8
Paille de riz girobroyée	47,9 ± 2,2 (n=11)	58,3 ± 1,8 (n=11)	44,0 ± 32,7 (n=3)	20,1 ± 16,3 (n=3)	68,4 ± 9,8 (n=3)	38,9 ± 5,4 (n=3)	54,3 ± 1,3 (n=3)
Paille de riz girobroyée (4/5 + Graine de coton (1/5))	51,8 ± 1,8 (n=22)	57,9 ± 2,3 (n=22)	43,2 ± 8,1 (n=6)	40,5 ± 16,8 (n=6)	63,1 ± 2,9 (n=6)	39,7 ± 3,9 (n=6)	56,4 ± 4,0 (n=6)
Paille de riz girobroyée traitée à l'urée	42,4	52,6	31,2	27,8	61,7	33,7	51,9
Foin de Dahra	48,3	48,6	47,5	20,6	47,1	38,1	52,9
Foin de Sangalkam	48,2	49,5	20,9	0,0	50,0	24,9	51,9
Foin de Sangalkam + Tourteau arachide	39,9	43,4	28,1	38,2	52,7	41,8	51,9
Foin de Sangalkam + Traitement urée	39,2	43,0	-48,4	19,7	48,5	32,0	50,7
<i>Panicum maximum</i> demi-sec girobroyé	47,5 ± 2,8 (n=12)	48,5 ± 2,5 (n=12)	41,3 ± 27,2 (n=3)	36,7 ± 19,8 (n=3)	62,7 ± 7,7 (n=3)	32,9 ± 4,7 (n=3)	49,4 ± 0,1 (n=3)
<i>Pennisetum Kisozi</i> demi-sec girobroyé	50,9 ± 2,5 (n=16)	52,9 ± 2,3 (n=16)	42,8 ± 3,8 (n=4)	37,2 ± 16,1 (n=4)	59,4 ± 10,6 (n=4)	40,7 ± 0,7 (n=4)	51,7 ± 0,5 (n=4)
Ration Embouche intensive Bovins 1973	52,0 ± 2,4 (n=16)	52,8 ± 2,4 (n=16)	45,1 ± 9,9 (n=4)	49,5 ± 16,7 (n=4)		56,4 ± 4,2 (n=4)	55,7 ± 1,5 (n=4)

Rectificatif : 1^{re} colonne, lire paille de riz girobroyée (4/5) +

TABL. N°II-Résultats des dosages de lignine par la méthode à l'acide sulfurique et par la méthode au permanganate dans les cinq groupes de fourrages ou d'aliments étudiés (en p.1000 du poids sec).

Nombre de digestibilités	Base de la ration	Distribué		Refusé		Ingéré (Calculé)	
		L1	L2	L1	L2	L1	L2
9	Fane d'arachide	104,7 ± 9,9	110,9 ± 13,4	109,0 ± 13,9	113,2 ± 14,1	99,1 ± 15,6	107,0 ± 22,3
10	Paille de riz	69,9 ± 8,2	65,0 ± 10,0	73,2 ± 10,9	72,1 ± 13,9	69,0 ± 9,7	64,2 ± 9,3
7	Plantes fourragères	80,9 ± 9,4	84,4 ± 6,6	103,0 ± 12,4	105,9 ± 9,9	71,4 ± 9,7	75,3 ± 8,7
5	Foin de prairies naturelles	114,3 ± 37,7	124,8 ± 32,5	111,2 ± 30,7	118,9 ± 43,1	117,0 ± 43,6	125,4 ± 30,9
4	Rations embouche	98,6 ± 7,4	46,1 ± 5,7	112,6 ± 19,2	54,7 ± 8,7	95,3 ± 10,3	43,0 ± 8,0
Total 35	Ensemble des données	90,7 ± 7,6	87,1 ± 10,4	98,3 ± 7,9	92,8 ± 10,4	87,1 ± 8,7	83,8 ± 11,1

tives. (Les valeurs de r sont respectivement 0,71 ; 0,64 ; 0,67.)

Au total, il apparaît donc, concernant le dosage de la lignine dans les fourrages étudiés, que les deux méthodes peuvent être considérées comme équivalentes.

IV.1.2. Dosage de la lignine dans les matières fécales

Les dosages de lignine dans les matières fécales ont été effectués comme pour les fourrages à l'aide des deux méthodes précédemment décrites (H_2SO_4 et $KMnO_4$). Le tableau n° III suivant en présente les résultats moyens par groupe de digestibilités. Y figurent également les taux moyens de lignine théorique calculée. Il s'agit, si l'on considère que ce composant des fourrages se comporte en matériel totalement indigestible, de la lignine que l'on doit théoriquement retrouver dans les fèces, déduite de la lignine ingérée et des matières fécales émises.

Les calculs statistiques sur l'ensemble des données conduisent aux conclusions suivantes :

— il existe une différence significative ($F = 4,2$) entre les deux méthodes de dosage. Par contre, la corrélation entre les deux méthodes de dosage est hautement significative ($r = 0,78$). Si les deux méthodes de dosage donnent donc des résultats différents dans l'absolu ($L1 > L2$), ces derniers évoluent sensiblement de la même façon dans les différentes séries de digestibilités ;

— concernant la méthode de dosage à l'acide sulfurique, il n'y a pas de différence significative entre les résultats obtenus par l'analyse et ceux issus du calcul théorique ($F = 2,30$). Par ail-

leurs, la corrélation entre les deux types de résultats est hautement significative ($r = 0,71$) ;

— concernant la méthode de dosage au permanganate, il existe une différence significative entre les résultats obtenus par l'analyse et ceux issus du calcul théorique ($F = 8,42$). Cependant, la corrélation entre les deux types de résultats est hautement significative ($r = 0,89$).

Au total, pour ce qui est du dosage de la lignine dans les fèces, si l'on admet le principe de l'indigestibilité totale du marqueur et une approximation correcte de son taux dans l'ingéré, il semble qu'il faille préférer au dosage par le permanganate celui à l'acide.

IV.1.3. Coefficients de digestibilité par la méthode des rapports

Disposant du taux de lignine dans le fourrage ingéré et dans les matières fécales par l'une ou l'autre des méthodes de dosage, on passe par application de la formule (F1) à l'estimation du coefficient de digestibilité de la matière sèche. Les résultats moyens obtenus pour chaque groupe de fourrages sont présentés dans le tableau n° IV en même temps que ceux de la méthode de référence.

Les résultats précédents appellent un certain nombre d'observations :

a) Les coefficients obtenus par la méthode des rapports sont inférieurs à ceux correspondant aux expérimentations de référence *in vivo*. Cette sous-estimation est particulièrement nette avec la méthode au permanganate. D'une façon générale, elle peut tenir soit à une sur-estimation du pourcentage de lignine dans le fourrage, soit à une sous-estimation du pourcentage de lignine

TABL. N° III—Résultats des dosages de lignine par la méthode à l'acide sulfurique et par la méthode au permanganate dans les fèces.

Nombre de digestibilités	Base de la ration	L1 (H_2SO_4)		L2 ($KMnO_4$)	
		L1 dosée	L1 calculée	L2 dosée	L2 calculée
9	Fane d'arachide	235,8 ± 34,8	237,8 ± 32,3	200,8 ± 25,3	272,5 ± 25,2
10	Paille de riz	119,9 ± 13,3	137,6 ± 21,3	99,3 ± 15,1	127,3 ± 18,2
7	Plantes fourragères	123,2 ± 6,0	142,2 ± 23,9	119,8 ± 7,0	150,3 ± 23,7
5	Foin prairies naturelles	154,9 ± 45,5	209,6 ± 73,0	156,0 ± 26,7	226,2 ± 54,9
4	Rations embouche	174,5 ± 15,4	199,6 ± 28,0	86,4 ± 13,3	90,0 ± 17,8
35	Ensemble	161,6 ± 18,9	181,7 ± 19,0	136,1 ± 16,6	179,1 ± 25,0

TABL. N°IV-Coefficients de digestibilité de la matière sèche par la méthode des rapports.

Nombre de digestibilités	Base de la ration	Digestibilité MS <i>in vivo</i>	Méthodes des rapports	
			L1	L2
9	Fane d'arachide	58,4 ± 2,1	56,3 ± 10,1	46,2 ± 11,3
10	Paille de riz	49,4 ± 3,1	42,2 ± 6,6	33,1 ± 11,2
7	Plantes fourragères	49,4 ± 3,7	42,1 ± 6,1	37,0 ± 7,9
5	Foin prairies naturelles	44,8 ± 6,1	36,0 ± 21,8 ^{**}	19,8 ± 16,9
4	Rations embouche	52,0 ± 3,0	45,1 ± 9,9	49,5 ± 16,7
35	Ensemble	51,3 ± 2,0	45,6 ± 4,2 ^{***}	37,2 ± 5,4

^{**} n = 4 ; ^{***} n = 34.

dans les fèces. Il nous est théoriquement possible de trancher. On a vu, en effet, au paragraphe précédent, que les deux méthodes pouvaient être considérées comme équivalentes du point de vue du dosage de la lignine dans les fourrages. On peut donc penser, en première analyse, que les distorsions tiennent plutôt à une sous-estimation du pourcentage de lignine dans les fèces.

En effet, si sur l'ensemble des 35 digestibilités, nous revenons à la relation de base :

$$\text{DMS} = 100 - 100 \frac{\text{p. 100 lignine dans le fourrage}}{\text{p. 100 lignine dans les fèces}} \quad (\text{F1})$$

et l'appliquons en prenant :

p. 100 lignine dans le fourrage = p. 100 lignine dans l'ingéré déduit des analyses de fourrages,

et p. 100 lignine dans les fèces = p. 100 lignine théorique calculé dans les fèces, en supposant la lignine totalement indigestible (lignine ingérée = lignine excrétée), on obtient :

- avec la méthode à l'acide sulfurique :

$$\text{DMS} = 100 - 100 \frac{87,1}{181,7} = 52,1 ;$$

- avec la méthode au permanganate :

$$\text{DMS} = 100 - 100 \frac{83,8}{179,1} = 53,2,$$

chiffres très voisins de celui donné par la méthode de référence (51,3). Ceci confirme, d'une part la validité de la méthode si la lignine se comporte bien en matériel totalement indigestible, d'autre part l'hypothèse que les distorsions observées par rapport à la méthode de référence tiennent surtout à une sous-estimation

à l'analyse du pourcentage de lignine *dans les fèces*, sous-estimation qui, d'ailleurs, apparaît nettement au tableau n° III. On peut en outre penser que cette sous-estimation tient soit au fait que les résultats sont entachés d'une erreur d'analyse systématique par défaut quand les méthodes sont appliquées aux fèces, soit au fait que, les résultats étant corrects, une fraction de la lignine est digérée. Il est difficile de se prononcer quand on considère d'une part que les fèces représentent un matériel biologique très spécial, profondément remanié par rapport au fourrage initial, d'autre part qu'il n'est pas impossible, en milieu tropical, qu'une fraction de la lignine, plus ou moins importante selon la nature des fourrages, soit utilisée par l'animal.

On notera, par ailleurs, que la structure même de la relation (F1) explique en partie les distorsions que l'on peut observer au niveau des méthodes indirectes. Si l'on pose en effet :

$$D = 100 - 100 \frac{x}{y}, \quad (\text{F1})$$

il vient

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$$

soit :

$$\Delta D = D \left[\frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y} \right];$$

avec : x = 10 p. 100, y = 20 p. 100, soit D = 50 p. 100 (données moyennes), on voit qu'une erreur faible de dosage (1 p. 100 sur l'ingéré et sur les fèces) conduit à $\Delta D = 50 \left(\frac{1}{10} + \frac{1}{20} \right)$, soit une distorsion de 7,5 points en digestibilité. On remarquera que c'est environ, à l'exception du groupe « fane d'arachide », la distorsion qui existe entre la méthode *in vivo* et la méthode à l'acide sulfurique.

La variabilité des résultats apparaît donc beaucoup plus élevée avec les méthodes indirectes qu'avec la méthode de référence.

b) Sur l'ensemble des digestibilités, il apparaît des différences significatives entre les coefficients *in vivo* et ceux obtenus par les méthodes indirectes. Avec la lignine H_2SO_4 , on obtient $F_{66}^1 = 6,65$ (différence significative) ; avec la lignine $KMnO_4$, $F_{68}^1 = 24,7$ (différence significative).

c) Il existe cependant des corrélations significatives entre les coefficients *in vivo* et ceux obtenus par les méthodes indirectes. Dans le premier cas, le coefficient de corrélation r est égal à 0,54 (liaison hautement significative à mieux que 1 p. 1 000), dans le second cas $r = 0,46$ (liaison significative à 1 p. 100).

De l'ensemble des conclusions partielles précédentes, il ressort que l'estimation des coefficients de digestibilité des fourrages secs par l'utilisation du marqueur lignine n'est pas une méthode pleinement satisfaisante. La structure même de la relation utilisée, l'imprécision de la méthode, la sous-estimation systématique par rapport aux chiffres théoriques du dosage de lignine dans les fèces, expliquent les distorsions avec la méthode de référence, distorsions qui sont particulièrement marquées lorsque la lignine est dosée par le permanganate. Cependant, l'existence d'une différence non significative avec la méthode à l'acide sulfurique entre les résultats obtenus par l'analyse de la lignine dans les fèces et ceux issus du calcul théorique, la corrélation élevée entre ces deux types de résultats, l'existence surtout d'une liaison hautement significative à mieux que 1 p. 1 000 avec les coefficients *in vivo*, font, qu'en première approximation, on peut retenir la méthode à l'acide sulfurique comme méthode d'estimation des coefficients de digestibilité de la matière

sèche. Dans cette optique, la régression linéaire de x sur y (x = coefficient de digestibilité par la méthode lignine H_2SO_4 , y = coefficient de digestibilité par la méthode de référence) est de la forme :

$$y = 0,25 \times x + 40,3.$$

IV.2. Équation sommative de VAN SOEST

La méthode appliquée aux rations à base de fourrages secs expérimentées en digestibilité conduit aux résultats partiels figurant au tableau n° I et aux résultats d'ensemble figurant au tableau n° V suivant :

Les calculs statistiques sur l'ensemble des données font apparaître une différence significative à 2,5 p. 100 entre les résultats issus de l'équation de VAN SOEST et ceux fournis par la méthode de référence ($F_{60}^1 = 6,73$). Il existe cependant entre ces résultats une liaison significative à 5 p. 100 mais l'intensité de cette liaison est faible ($r = 0,40$). Dans ces conditions, il semble que l'on puisse difficilement retenir la méthode pour l'appréciation des coefficients de digestibilité des fourrages secs.

IV.3. Digestibilité *in vitro* en deux temps de TILLEY et TERRY

Le tableau n° VI présente les résultats d'ensemble par groupe de digestibilités obtenus par la méthode comparativement à celle de référence.

Les calculs statistiques sur l'ensemble des données font apparaître une différence significative à 1 p. 100 entre les résultats fournis par les deux méthodes ($F_{68}^1 = 8,77$). Il existe cependant une liaison hautement significative à mieux que 1 p. 1 000 entre ces deux types de résultats ($r = 0,65$). On ne peut donc pas rejeter d'emblée la méthode. Une explication logique à la distorsion entre les résultats obtenus en diges-

TABL. N°V—Coefficients de digestibilité de la matière organique déduits de l'équation sommative de VAN SOEST.

Nombre de digestibilités	Base de la ration	Digestibilité MO <i>in vivo</i>	Digestibilité MO VAN SOEST
9	Fane d'arachide	61,2 ± 3,1	58,7 ± 3,0
10	Paille de riz	57,2 ± 3,0	64,5 ± 2,8
7	Plantes fourragères	51,0 ± 3,5	60,8 ± 5,0
5	Foin prairies naturelles	46,6 ± 4,6	49,1 ± 2,9
31	Ensemble	55,2 ± 2,4	59,5 ± 2,4

Rectificatif : 3^e colonne, lire 61,2 ± 3,1.

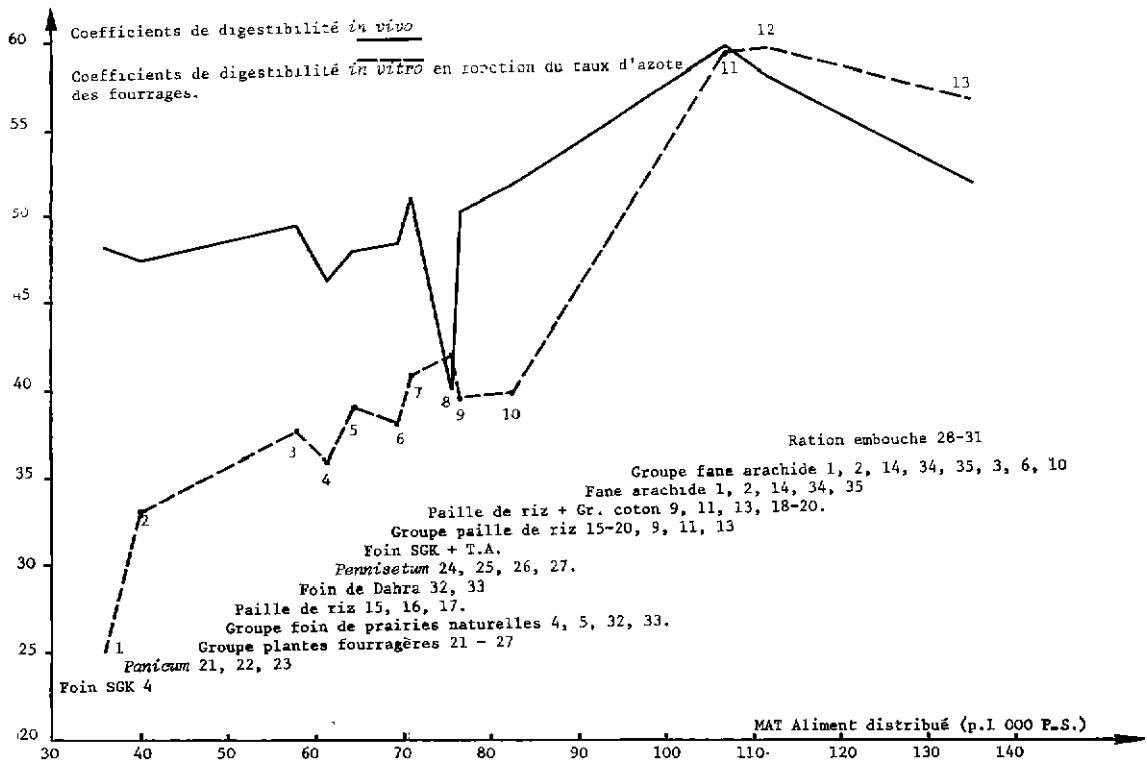
TABLE. N° VI-Coefficients de digestibilité de la matière sèche obtenus par digestibilité *in vitro* en deux temps

Nombre de digestibilités	Base de la ration	Digestibilité MS <i>in vivo</i>	Digestibilité MS <i>in vitro</i>	Δ en p.100 <i>in vivo</i>	P.1000 MAT Aliment distribué sec
9	Fane d'arachide	58,4 \pm 2,1	58,6 \pm 4,1	0	117 \pm 14
10	Paille de riz	49,4 \pm 3,1	38,8 \pm 2,5	- 21,5	81 \pm 14
7	Plantes fourragères	49,4 \pm 3,7	37,4 \pm 4,0	- 24,3	58 \pm 17
5	Foin prairies naturelles	44,8 \pm 6,1	35,0 \pm 10,0	- 21,9	66 \pm 23
4	Rations embouche	52,0 \pm 3,0	56,4 \pm 4,2	+ 8,5	135 \pm 5
35	Ensemble	51,3 \pm 2,0	45,1 \pm 3,8		

tibilité *in vitro* et par la méthode de référence pourrait résider dans les différences de teneur en azote des aliments distribués. On comprend en effet qu'une faible teneur en azote du substrat se traduise, en digestibilité *in vitro*, par une attaque bactérienne et enzymatique limitée et conduise donc à des coefficients de digestibilité sous-estimés par rapport à la digestibilité *in vivo*. C'est bien ce que l'on semble observer au tableau n° VI, pour les différentes catégories de fourrages étudiés, en dessous d'une teneur en matières azotées totales d'environ 11 p. 100. Par contre, pour des teneurs en matières azotées

de l'ordre de 11 p. 100, les coefficients obtenus par les deux méthodes sont presque confondus. Au-delà (rations d'embouche), il semble même que la différence s'inverse, les coefficients *in vitro* prenant le pas sur ceux obtenus *in vivo*. Le graphique suivant rend compte de ces variations. Y sont portées en abscisses les teneurs en matières azotées totales des aliments distribués en p. 1 000 du poids sec, en ordonnées les coefficients obtenus par la méthode de référence et en digestibilité *in vitro*.

On vérifie que l'écart entre les coefficients, important aux faibles teneurs en matières azo-



Rectificatif : Lire : Foin SGK + T.A.5.

tées totales, s'amenuise progressivement pour s'annuler et s'inverser au-delà de 110 p. 1 000 de matières azotées totales. On remarquera en outre que les points 8 de la courbe qui représentent le cas particulier d'un foin de Sangalkam complété en azote par une source protéique (tourteau d'arachide) font nettement apparaître un resserrement des données qui vient corroborer l'hypothèse faite.

Il semble donc au total que les digestibilités *in vitro* telles qu'elles ont été conduites peuvent constituer une méthode valable d'appréciation des coefficients de digestibilité de la matière sèche pour certaines catégories de fourrages dont les teneurs en matières azotées totales se situent aux environs de 10 à 12 p. 100. Pour ceux moins riches en protéines brutes, on peut espérer apporter une correction en introduisant en plus du substrat dans le tube de fermentation une certaine quantité d'azote de façon à pénétrer dans une zone d'activité bactérienne pour laquelle on peut considérer la digestibilité *in vitro* comme équivalente à celle *in vivo*. Une telle correction est actuellement en cours.

IV.4. Équation de LAMBOURNE et REARDON

Le tableau n° VII suivant présente les résultats d'ensemble par groupe de digestibilités obtenus par l'application de l'équation de LAMBOURNE comparativement à ceux obtenus par la méthode de référence.

Les calculs statistiques sur l'ensemble des données ne font pas apparaître de différence significative entre les résultats fournis par les deux méthodes : ($F = 0,003$). Il existe par ailleurs une liaison hautement significative à mieux que 1 p. 1 000 entre les deux types de résultats ($r = 0,83$), la régression linéaire de x sur y

(x = coefficient de digestibilité LAMBOURNE/
 y = coefficient de digestibilité par la méthode de référence) étant de la forme :

$$y = 1,39 \times x - 21,15.$$

On remarquera, en outre, la faible variabilité des résultats à l'intérieur de chaque groupe de fourrages. Pour toutes ces raisons, la méthode semble donc constituer dans le cadre de nos objectifs un instrument fidèle et immédiatement utilisable pour l'étude des fourrages secs.

V. CONCLUSION

L'objectif de ce travail était donc la comparaison sur fourrages secs des coefficients de digestibilité obtenus par quatre méthodes indirectes par rapport à ceux fournis par la méthode choisie comme référence : la digestibilité *in vivo* sur mouton. Les critères retenus pour cette comparaison sont d'une part le résultat de l'analyse de variance qui porte un jugement sur la comparabilité des groupes testés, d'autre part le résultat du test de corrélation qui situe le degré de liaison existant entre deux séries de données. Le tableau n° VIII suivant regroupe les résultats obtenus.

Sur les fourrages testés, c'est l'application de l'équation de LAMBOURNE qui sans conteste donne par rapport à la digestibilité *in vivo* les résultats les meilleurs. Il n'existe pas entre les deux méthodes de différence significative et la liaison mise en évidence est significative à mieux que 1 p. 1 000.

On pourra retenir en second lieu la méthode *in vitro*. S'il existe bien par rapport à celle *in vivo* une différence significative que nous espérons d'ailleurs pouvoir réduire en adaptant la méthode, il n'en reste pas moins que la liaison

TABL. N°VII-Coefficients de digestibilité de la matière organique obtenus par application de l'équation de LAMBOURNE

Nombre de digestibilités	Base de la ration	Digestibilité MO <i>in vivo</i>	Digestibilité MO LAMBOURNE
9	Fane d'arachide	61,2 ± 3,1	58,9 ± 1,9
10	Paille de riz	57,2 ± 3,0	55,3 ± 2,3
7	Plantes fourragères	51,0 ± 3,6	50,7 ± 1,2
5	Foin prairies naturelles	46,6 ± 4,6	52,1 ± 1,5
4	Rations embouche	52,8 ± 3,5	55,7 ± 1,5
35	Ensemble	55,0 ± 2,1	54,9 ± 1,3

TABL. N°VIII-Comparaison des coefficients de digestibilité *in vivo* à ceux obtenus par les méthodes indirectes. Tests de F et de r.

M é t h o d e		Comparaison/Digestibilité <i>in vivo</i> Valeurs de F			Corrélation avec la digestibilité <i>in vivo</i> Valeur de r		
Rapport	L1	1 66	6,65	DS 2,5 p.100	0,54	LHS	1 p.1 000
Lignine	L2	1 68	24,7	DHS 1 p.1 000	0,46	LS	1 p. 100
Equation de VAN SOEST		1 60	6,73	DS 2,5 p.100	0,40	LS	5 p. 100
<i>in vitro</i>		1 68	8,77	DS 1 p. 100	0,65	LHS	1 p. 1 000
Equation de LAMBOURNE		1 68	0,003	DNS	0,83	LHS	1 p. 1 000

entre les deux méthodes est forte et significative à mieux que 1 p. 1 000.

La méthode des rapports enfin, basée sur un dosage de lignine par l'acide sulfurique, pourrait, compte tenu des observations faites, servir, par l'application de l'équation de régression mise en évidence, de méthode approchée de vérification — La liaison avec celle *in vivo* est hautement significative à mieux que 1 p. 1 000.

Quant aux deux autres types de résultats (lignine KMnO_4 et Équation de VAN SOEST), les critères de comparaison apparaissent trop médiocres pour que ces méthodes soient valablement retenues.

En conclusion, dans le cadre du programme général de recherche rappelé en introduction, une méthode indirecte, celle faisant appel aux travaux de LAMBOURNE et REARDON,

paraît immédiatement utilisable pour apprécier la digestibilité des fourrages secs consommés sur les pâturages tropicaux. La digestibilité *in vitro*, après les corrections actuellement en cours, pourra sans doute constituer une deuxième méthode utilisable. En cas de différences trop marquées, la méthode à la lignine H_2SO_4 devrait pouvoir apporter une information supplémentaire et permettre de trancher. Il faut enfin souligner que ces conclusions sont à retenir pour ce qui concerne les fourrages de saison sèche. Une étude similaire mettant en œuvre les mêmes méthodes mais intéressant divers fourrages verts est actuellement en cours de réalisation. Elle devrait permettre la détermination des méthodes les plus adéquates d'appréciation des coefficients de digestibilité dans le cadre des études à conduire ultérieurement dans les conditions de terrain en saison des pluies.

SUMMARY

**Tropical cattle nutrition under grazing range conditions in sahelian areas :
Measurement of the dry matter intake and estimation of digestibility and
feeding value of forages. Part III : Comparison of five methods
of predicting digestibility-dry forages**

Authors compare and discuss the results given by 5 methods of predicting digestibility. The whole of the work was carried out with 35 tropical forages. If compared with the reference method — *in vivo* digestibility on sheep — methods which allow the best estimations with investigated forages are on the one hand the Lambourne's faecal nitrogen index method and, on the other hand, a two-stage technique of *in vitro* digestion. Within the limits of purposes referred in the title, it appears that the first method ($F = 0,003$; $r = 0,83$) may be used without any important modification, as for the second it has been shown that some adjustments have to be made for reaching the aims above-mentioned.

RESUMEN

**Nutrición de los bovinos tropicales en ganaderías extensivas sahelianas :
medidas de consumo y valoración de la digestibilidad y del valor
alimenticio de los forrajes. III. Comparación de cinco métodos de apreciación
de la digestibilidad de los alimentos del ganado (pienso seco)**

Los autores comparan y discuten los resultados obtenidos con 35 piensos según 5 métodos de apreciación de la digestibilidad.

En relación con el método de referencia, la digestibilidad *in vivo* en la oveja, los métodos susceptibles de dar las mejores estimaciones con los piensos tropicales estudiados son : el utilizando el índice fecal nitrogenado de Lambourne y el utilizando una técnica *in vitro* con dos tiempos.

Según los objetivos indicados en el título del dicho trabajo, parece que el primer método ($F = 0,003$; $r = 0,83$) puede ser empleada inmediatamente para un trabajo sobre terreno, el segundo necesitara antes algunas adaptaciones.

BIBLIOGRAPHIE

1. DIALLO (S.), PUGLIESE (P. L.) et CALVET (H.). Nutrition des bovins tropicaux dans le cadre des élevages extensifs sahéliens : Mesures de consommation et appréciation de la digestibilité et de la valeur alimentaire des fourrages. II^e partie : Note concernant les résultats d'une première série de digestibilités *in vivo* sur mouton. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1976, **29** (3).
2. ELLIS (G. H.), MATRONE (G.) et MAYNARD (L. A.). A 72 percent H_2SO_4 method for the determination of lignin and its use in animal nutrition studies. *J. anim. Sci.*, 1946, **5** : 285.
3. KANE (E. A.), JACOBSON (W. C.), ELY (R. E.) et MOORE (L. A.). The estimation of the dry matter consumption of grazing animals by ratio techniques. *J. dairy Sci.*, 1953, **36** : 637.
4. LAMBOURNE (L. J.) et REARDON (T. F.). The use of chromic oxide and faecal nitrogen concentration to estimate the pasture intake of Merino wethers. *Aust. J. agric. Res.*, 1963, **14** : 257.
5. PUGLIESE (P. L.), DIALLO (S.) et CALVET (H.). Nutrition des bovins tropicaux dans le cadre des élevages extensifs sahéliens : Mesures de consommation et appréciation de la digestibilité et de la valeur alimentaire des fourrages. I^{re} partie : Introduction-Objectifs-Méthodes. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1976, **29** (2) : 149-156.
6. REID (J. T.), WOOLFOLK (P. G.), RICHARDS (C. R.), KAUFMANN (R. W.), LOOSLI (J. K.), TURK (K. L.), MILLER (J. I.) et BLASER (R. E.). A new indicator method for the determination of digestibility and consumption of forages by ruminants. *J. dairy Sci.*, 1950, **33** : 60-71.
7. TILLEY (J. M. A.) et TERRY (R. A.). A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *J. Brit. Grassl. Soc.*, 1963, **18** : 104.
8. VAN SOEST (P. J.). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. I. Preparation of fiber residues of low nitrogen content. *J. A. O. A. C.*, 1963, **46** (5) : 825.
9. VAN SOEST (P. J.). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *J. A. O. A. C.*, 1963, **46** (5) : 829.
10. VAN SOEST (P. J.) et MOORE (L. A.). New chemical methods for analysis of forages for the purpose of predicting nutritive value. Proc. 9th Internat. Grassl. Congr., Sao Paulo, Brasil, 1965, paper 424.
11. VAN SOEST (P. J.). Non nutritive residues : a system of analysis for the replacement of crude fiber. *J. A. O. A. C.*, 1966, **49** (3) : 546.
12. VAN SOEST (P. J.). Development of a comprehensive system of feed analysis and its application to forages. *J. anim. Sci.*, 1967, **26** : 119-128.
13. VAN SOEST (P. J.) et WINE (R. H.). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell. Wall-constituants. *J. A. O. A. C.*, 1967, **50** : 50.
14. VAN SOEST (P. J.) et WINE (R. H.). Determination of lignin and cellulose in acid detergent fiber with permanganate. *J. A. O. A. C.*, 1968, **51** (4) : 780.
15. WILSON (A. D.), WEIR (W. C.) et TORELL (D. T.). Comparison of methods of estimating the digestibility of range forage and browse. *J. anim. Sci.*, 1971, **32** (5) : 1046.